

BIOSSEGURANÇA E SOBERANIA NACIONAL: INTEGRAÇÃO ENTRE MONITORAMENTO CLIMÁTICO, DIAGNÓSTICO RÁPIDO E RESPOSTA EXPEDICIONÁRIA EM CENÁRIOS DEFESA NUCLEAR, BIOLÓGICA, QUÍMICA E RADIOLÓGICA - BRASIL EM PERSPECTIVA

Biosafety and national sovereignty: integrating climate monitoring, rapid diagnosis, and expeditionary response in nuclear, biological, chemical, and radiological scenarios – Brazil in an international perspective

Andreia Carneiro da Silva^{1*†} , Ana Paula de Falco^{2*} ,
Bruna Luísa Franco Fadel³ , Monica Felts de La Roca Soares⁴ ,
Oswaldo Luiz Leal de Moraes⁵ , José Mauro Granjeiro⁶ , Flávio Rocha da Silva⁷

Resumo: A pandemia de COVID-19 evidenciou vulnerabilidades críticas do Brasil frente a emergências biológicas, como a dependência de insumos importados, a escassez de laboratórios de alta contenção e as dificuldades de integração interinstitucional. Este estudo avaliou a preparação nacional em biossegurança em comparação com arranjos institucionais dos Estados Unidos, da União Europeia, do Reino Unido e de Israel. Foi conduzida revisão documental estruturada, com análise de especialistas e *benchmarking* internacional, complementada por dados nacionais sobre saúde ocupacional, desastres climáticos e resposta médica expedicionária. À luz do marco regulatório

Abstract: The COVID-19 pandemic has highlighted Brazil's critical vulnerabilities in biological emergencies, including dependence on imports, a lack of high-security laboratories, and difficulties in interinstitutional integration. This study assessed the national biosafety arrangements in comparison with the institutional frameworks of the United States, the European Union, the United Kingdom, and Israel. A structured document review was conducted, with expert analysis and international benchmarking, complemented by national data on occupational health, climate-related disasters, and expeditionary medical response. Considering the Brazilian regulatory framework — Law N°. 11.105/2005 and the

1. Capitão de Fragata. Doutora em Ciências pelo Instituto de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Chefe do Departamento de Ciências, Tecnologia e Inovação, Centro Tecnológico do Corpo de Fuzileiros Navais, Rio de Janeiro, RJ – Brasil. E-mail: andrea.carneiro@marinha.mil.br; andriacarneiromb@gmail.com

2. Capitão Mar e Guerra. Doutora em Ciência e Tecnologia de Polímeros pelo Instituto de Macromoléculas Professora Eloisa Mano. Assessora de Ciências e Tecnologia, Rio de Janeiro, RJ – Brasil. E-mail: ana.falco@marinha.mil.br

3. Mestre em Ciências pelo Instituto de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Bolsista pesquisadora, Rio de Janeiro, RJ – Brasil. E-mail: brunaluísa.fadel@hotmail.com

4. Doutora em Ciências Farmacêuticas pela Universidade Federal de Pernambuco. Professora associada do Departamento de Ciências Farmacêuticas da Universidade Federal de Pernambuco, Pernambuco, PE – Brasil. E-mail: monica.soares@ufpe.br

5. Pós-doutor no *Atmospheric Sciences Research Center da SUNY (State University of New York)*. Diretor do Departamento de Clima e Sustentabilidade do Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovação. Membro do Comitê Assessor de Ciência e Tecnologia, para as Américas e Caribe, do Escritório das Nações Unidas para Redução de Risco de Desastres. Professor Titular da Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS – Brasil. E-mail: osvaldo.moraes@mcti.gov.br

6. Pós-doutor em Biologia Celular e Molecular no Instituto de Química da Universidade de São Paulo. Especialista Sênior em Metrologia e Qualidade do Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia, Rio de Janeiro, RJ – Brasil. E-mail: jmgranjeiro@inmetro.gov.br

7. Pós-doutor em Ciências e Biotecnologia na Universidade Federal Fluminense. Diretor científico da Sociedade Brasileira de Biossegurança e Bioproteção.

Pesquisador sênior em saúde pública do laboratório de peptídeo e bioquímica do Centro de Desenvolvimento Tecnológico em Saúde, Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, RJ – Brasil. E-mail: flavio.rocha@ioc.fiocruz.br

*Os autores contribuíram igualmente para o trabalho.

†Autor correspondente.

brasileiro — Lei nº 11.105/2005 e Comissão Técnica Nacional de Biossegurança, além das atribuições de Anvisa e do MMA —, identificou-se que o país dispõe de base regulatória relevante; contudo, carece de um arranjo abrangente de coordenação em biossegurança e biodefesa que integre vigilância biológica, biomanufatura, redes laboratoriais de alta contenção e resposta expedicionária. Os resultados apontam fragilidades na governança, na autonomia diagnóstica, na contenção e na interoperabilidade de dados e indicam como prioridades: consolidar a coordenação nacional (articulando CTNBio, Anvisa, MMA, MS, CEMADEN, Inmetro, Fiocruz e Defesa); instituir comissão focada em agentes de alta patogenicidade e de uso *dual*; expandir a biomanufatura estratégica; e integrar o CEMADEN à vigilância biológica, reforçando a resposta expedicionária via UMEM/CFN. Ao combinar salvaguardas éticas relativas ao uso *dual* e alinhar ciência, saúde, defesa e meio ambiente, o Brasil pode reduzir vulnerabilidades, ampliar a resiliência e fortalecer a soberania tecnológica em cenários de Defesa NBQR, com atenção especial à Amazônia Azul.

Palavras-chave: Biossegurança. Biodefesa. Soberania nacional. Desastres naturais. NBQR. Resiliência. Uso dual. Amazônia azul.

National Technical Commission for Biosafety (CTNBio), in addition to the mandates of Anvisa and the Ministry of Environment (MMA) — it was found that, although the country has a relevant regulatory base, it lacks a comprehensive coordination of biosafety and biodefense integrating biosurveillance, bioproduct manufacturing, high-security laboratory networks, and expeditionary response. The findings indicate weaknesses in governance, diagnostic autonomy, containment, and data interoperability, and identify the following priorities: Consolidation of national coordination (linking CTNBio, Anvisa, MMA, the Ministry of Health, CEMADEN, Inmetro, Fiocruz and the Ministry of Defense); creation of a commission focused on highly pathogenic and dual-use agents; expansion of strategic bioproduction; and integration of CEMADEN into biosurveillance, while strengthening expeditionary response through UMEM/CFN. By incorporating ethical dual-use safeguards and aligning science, health, defense, and environmental sectors, Brazil can reduce vulnerabilities, increase resilience, and strengthen technological sovereignty in CBRN defense scenarios, with special attention to the Blue Amazon.

Keywords: Biosafety. Biodefense. National sovereignty. Natural disasters. CBRN. Resilience. Dual use. Blue Amazon.

1. INTRODUÇÃO

A pandemia de COVID-19 expôs vulnerabilidades críticas das cadeias produtivas e dos sistemas de saúde, com interrupções no fornecimento de equipamentos de proteção individual, reagentes e plataformas vacinais, afetando a saúde pública, a economia e a segurança nacional (Lima; Pereira; Machado, 2020; Teixeira; Santos, 2023). No Brasil, tais fragilidades foram agravadas pela insuficiência de coordenação federal (Teixeira; Santos, 2023), pela escassez de laboratórios de alta contenção e pela dependência externa de insumos estratégicos (Brasil, 2019), evidenciando a biossegurança como elemento de soberania e defesa nacional.

Além das ameaças biológicas, o país enfrenta eventos climáticos extremos — enchentes, deslizamentos, ondas de calor e incêndios — que expõem populações e trabalhadores de linha de frente a riscos químicos, biológicos e radiológicos. O Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres

Naturais (CEMADEN) cumpre papel estratégico no monitoramento e na emissão de alertas, devendo integrar-se a uma rede nacional de biossegurança que articule vigilância epidemiológica, capacidade laboratorial e resposta expedicionária.

Experiências internacionais demonstram que arranjos institucionais robustos reduzem a latência entre ciência e aplicação em crises. A União Europeia criou a Health Emergency Preparedness and Response Authority (HERA) em articulação com o European Centre for Disease Prevention and Control (ECDC) (European Commission, 2021); os Estados Unidos consolidaram a Administration for Strategic Preparedness and Response (ASPR) e a Biomedical Advanced Research and Development Authority (BARDA) (United States, 2022; HHS/ASPR, 2024); o Reino Unido estruturou a United Kingdom Health Security Agency (UKHSA) e mantém *Porton Down* (United Kingdom, 2023); e Israel integra o Israel Institute for Biological Research (IIBR) ao Ministério da Saúde e ao *Home Front Command* (Israel, 2024).

À luz desses referenciais, o presente artigo analisa como o Brasil se posiciona, identificando ativos relevantes e lacunas estruturais. A principal motivação reside na fragmentação da governança e na insuficiente integração entre monitoramento climático, vigilância epidemiológica e resposta sanitária. Busca-se propor recomendações para consolidar uma estratégia de biossegurança e soberania nacional, articulando CEMADEN, Complexo Econômico-Industrial da Saúde (CEIS), Fundação Oswaldo Cruz (Fiocruz), Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (Inmetro) e Ministério da Defesa em arquitetura interoperável, em alinhamento com o Plano Estratégico da Marinha (PEM) 2040 e a proteção político-estratégica da Amazônia Azul (Brasil, 2020a).

2. METODOLOGIA

Este estudo caracteriza-se como análise qualitativa comparativa, baseada em revisão documental, avaliação de especialistas e *benchmarking* internacional.

Na primeira etapa, realizou-se revisão estruturada de artigos científicos e documentos oficiais, com foco em biossegurança, biodefesa, biomanufatura, vigilância epidemiológica (Ministério da Saúde, 2003) e desastres naturais. Incluíram-se publicações em periódicos revisados por pares, diretrizes do Ministério da Saúde, o Plano do CEIS e relatórios técnicos do CEMADEN, essenciais para avaliar a capacidade nacional de monitoramento climático e emissão de alertas (Brasil, 2019).

Na segunda etapa, os achados foram examinados por especialistas em biossegurança, biotecnologia, saúde pública, defesa e saúde do trabalhador, permitindo consolidar evidências em eixos estratégicos, identificar ativos, mapear vulnerabilidades e discutir alternativas para o fortalecimento da soberania.

A terceira etapa consistiu em *benchmarking* internacional, abrangendo: União Europeia (HERA e ECDC) (European Commission, 2021); Estados Unidos (*National Biodefense Strategy*, ASPR e BARDA) (United States, 2022; HHS/ASPR, 2024); Reino Unido (*UK Biological Security Strategy*, UKHSA e *Porton Down*) (United Kingdom, 2023); e Israel (IIBR e *Home Front Command*) (Israel, 2024).

Por fim, elaborou-se síntese integrativa em cinco eixos:

- I. governança e estratégia;
- II. biomanufatura e autonomia diagnóstica;

III. vigilância, diagnóstico e validação operacional;

IV. infraestrutura de contenção; e

V. monitoramento climático, saúde ocupacional e resposta expedicionária, com destaque para o papel do CEMADEN como nó de alerta precoce e da Unidade Médica Expedicionária da Marinha Unidade Médica Expedicionária da Marinha/Corpo de Fuzileiros Navais (UMEM)/CFN como vetores de resposta expedicionária.

3. RESULTADOS

3.1. GOVERNANÇA E ESTRATÉGIA

Nos países de referência, a governança em biossegurança é estruturada por autoridades centrais com poder normativo, financiamento estável e capacidade de mobilização produtiva, a exemplo da HERA na União Europeia, da ASPR e da BARDA nos Estados Unidos e da UKHSA no Reino Unido (European Commission, 2021; United States, 2022; United Kingdom, 2023; HHS/ASPR, 2024). Israel, por sua vez, distingue-se pela forte integração civil-militar, coordenada pelo IIBR e pelo *Home Front Command* (Israel, 2024). Esse panorama comparativo está sintetizado na Tabela 1, que destaca diferenças na centralização e no alcance regulatório.

No Brasil, a governança segue dispersa. A Lei nº 11.105/2005 (Brasil, 2005) consolidou a regulação de organismos geneticamente modificados e instituiu a Comissão Técnica Nacional de Biossegurança (CTNBio) como órgão consultivo (Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, 2021), atribuindo funções também à Anvisa, ao Ministério de Agricultura e Pecuária (MAPA) e ao Ministério do Meio Ambiente (MMA). Esse arcabouço é considerado robusto no campo dos Organismos Geneticamente Modificados (OGMs), mas não contempla de forma abrangente microrganismos de alta patogenicidade e agentes de uso *dual*, nem garante articulação plena entre ciência, defesa e meio ambiente (Mendonça *et al.*, 2024). A emergência de novas tecnologias, como as ferramentas de edição genética CRISPR-Cas9, reforça a urgência de um marco regulatório atualizado que assegure inovação responsável e minimize riscos de uso indevido.

Estudos recentes ressaltam a necessidade de convergência regulatória, padronização laboratorial e maior integração institucional, pois a ausência de uma autoridade unificada amplia

a vulnerabilidade nacional frente a emergências biológicas e Defesa Nuclear, Biológica, Química E Radiológica (NBQR). A Tabela 2 sintetiza essas fragilidades e aponta oportunidades de avanço em governança, biomanufatura, diagnóstico, contenção e resposta expedicionária.

3.2. BIOMANUFATURA E AUTONOMIA DIAGNÓSTICA

Nos países analisados, a manutenção de contratos de capacidade e reservas produtivas “quentes” assegura rápida mobilização industrial em crises. O Brasil dispõe de instrumentos estratégicos, como o Plano de Investimentos do CEIS, que prevê R\$42 bilhões até 2026 (Brasil, 2023), além de iniciativas da Empresa Brasileira de Pesquisa e Inovação Industrial (Embrapii) e de aportes privados. Contudo, a forte dependência de insumos importados e tecnologias patenteadas, evidenciada durante a pandemia de COVID-19, limita

a autonomia nacional. Apesar da base científica para a produção de reagentes, anticorpos monoclonais e kits diagnósticos, persistem barreiras de escalabilidade e a ausência de mecanismos de contratação por risco, essenciais para garantir resposta ágil em emergências.

3.3. VIGILÂNCIA, DIAGNÓSTICO E VALIDAÇÃO OPERACIONAL

Nos modelos internacionais, a vigilância integrada apoia-se em redes laboratoriais de alta capacidade, interoperabilidade de dados e validação em campo. No Brasil, destaca-se a proposta de uma plataforma nacional de testes portáteis baseada em imunocromatografia e biossensores para detecção de Toxina Botulínica Tipo A (BoNT/A), Enterotoxina Estafilocócica B (SEB) e *Brucella spp.*, reunindo competências em engenharia de antígenos recombinantes, produção de anticorpos monoclonais e validação metrológica

Tabela 1. Comparativa de Governança em Biossegurança.

País/ Região	Estrutura Central	Integração Civil-Militar	Capacidade de Mobilização	Lições para o Brasil
EUA	ASPR + BARDA	Parcial (coordenação com DoD)	Contratos de risco e estoques estratégicos	Autoridade central forte; agilidade regulatória
UE	HERA + ECDC + EMA	Baixa (predomínio civil)	Estoques e mobilização industrial coordenada	Articulação supranacional útil para redes regionais
Reino Unido	UKHSA + Porton Down	Limitada, mas cooperação em defesa NBQR	Estratégia unificada de biossegurança	Referência em vigilância e integração científica
Israel	IIBR + Home Front Command	Total (defesa integrada à saúde)	Resposta imediata em crises	Modelo avançado de integração civil-militar
Brasil	Lei 11.105 (CTNBIO), ANVISA, MMA	Incipiente	Baixa; dependência externa	Necessidade de autoridade central e integração plena

EUA: Estados Unidos da América; UE: União Europeia;

ASPR: Administration for Strategic Preparedness and Response (Administração para Preparação e Resposta Estratégica); BARDA: Biomedical Advanced Research and Development Authority (Autoridade de Pesquisa e Desenvolvimento Biomédico Avançado);

DoD: Department of Defense (Departamento de Defesa dos Estados Unidos);

HERA: Health Emergency Preparedness and Response Authority (Autoridade de Preparação e Resposta a Emergências de Saúde);

ECDC: European Centre for Disease Prevention and Control (Centro Europeu de Prevenção e Controle de Doenças);

EMA: European Medicines Agency (Agência Europeia de Medicamentos);

UKHSA: UK Health Security Agency (Agência de Segurança em Saúde do Reino Unido);

NBQR: Defesa Nuclear, Biológico, Químico e Radiológico;

IIBR: Israel Institute for Biological Research (Instituto Israelense de Pesquisa Biológica);

CTNBio: Comissão Técnica Nacional de Biossegurança;

ANVISA: Agência Nacional de Vigilância Sanitária;

MMA: Ministério do Meio Ambiente.

Fonte: Elaborada pelos autores.

por múltiplas técnicas (ELISA, xMAP/MagPlex, LC-MS/MS, citometria espectral). Sua implementação pode reduzir a dependência externa e ampliar a capacidade de uso *dual*, atendendo tanto ao Sistema Único de Saúde (SUS) quanto à Defesa NBQR.

3.4. INFRAESTRUTURA DE CONTENÇÃO

Estados Unidos, União Europeia e Reino Unido mantêm redes consolidadas de laboratórios Nível de Biossegurança 3 (*Biosafety Level 3*) (BSL-3) e Nível de Biossegurança 4 (*Biosafety Level 4*) (BSL-4), com padrões próprios de referência, enquanto Israel concentra seus centros de alta contenção sob coordenação do IIBR. No Brasil, a infraestrutura segue limitada, restrita a Nível de Biossegurança 3 (NB3) em instituições como a Fiocruz, a Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), a Universidade de São Paulo (USP) e o Instituto de Biologia do Exército (IBEx), este último credenciado pela CTNBio e em processo de modernização. Levantamento recente identificou 92 laboratórios presumidos, dos quais apenas 66 foram confirmados em 54 instituições, e 32 responderam a questionários técnicos, apontando ausência de inventário oficial, fragilidade de financiamento e dificuldades de conformidade com padrões internacionais. Essas lacunas restringem a pesquisa,

a validação tecnológica e a prontidão diante de emergências biológicas (Mendonça, 2024).

3.5. MONITORAMENTO CLIMÁTICO, SAÚDE OCUPACIONAL E RESPOSTA EXPEDICIONÁRIA

O CEMADEN atua como nó estratégico no monitoramento hidrometeorológico e na emissão de alertas precoces, em consonância com estruturas internacionais que integram vigilância ambiental e biossegurança em sistemas unificados. A análise da dimensão ocupacional, apoiada em estudos epidemiológicos de bombeiros militares do Rio de Janeiro (Pires, 2016; Pires; Vasconcellos; Bonfatti, 2017), evidencia elevada prevalência de agravos musculoesqueléticos, lesões traumáticas e transtornos mentais, ressaltando a necessidade de vigilância ativa e protocolos de saúde do trabalhador para equipes de primeira resposta. Nesse contexto, a Fiocruz desempenha papel central no desenvolvimento e na aplicação de métodos rápidos de diagnóstico, com potencial de uso *dual*, enquanto o Inmetro contribui com a confiabilidade metrológica e a rastreabilidade de biossensores e reagentes, apoiando a tomada de decisão em contextos de crise. A UMEM, integrada a um Grupo Operativo de Fuzileiros Navais (GptOpFuzNav), constitui

Tabela 2. Fragilidades x Oportunidades no Brasil.

Eixo Estratégico	Fragilidades Identificadas	Oportunidades de Avanço
Governança	Ausência de uma Comissão de Biossegurança e Bioproteção destinada ao monitoramento de agentes biológicos com potencial de uso dual	Implantação de uma Comissão de Biossegurança e Bioproteção
Biofabricação	Dependência de insumos importados	Expansão do CEIS e produção de kits nacionais
Diagnóstico	Pouca interoperabilidade de dados	Plataformas portáteis e validação metrológica
Infraestrutura	Escassez de BSL-3/4	Ampliação de redes multiusuário (Fiocruz, Inmetro)
Expedicionária	Fragmentação entre órgãos	Integração CEMADEN-CFN como cadeia alerta-ação

CEIS: Complexo Econômico-Industrial da Saúde;

BSL - 3/4: Nível de Biossegurança 3 e 4;

CEMADEN - Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais;

CFN - Corpo de Fuzileiros Navais;

Fonte: Elaborada pelos Autores.

vetor essencial de resposta expedicionária, oferecendo triagem, estabilização, logística anfíbia e evacuação médica (Marinha do Brasil, 2020b). A integração do CEMADEN, da Fiocruz, do Inmetro e das capacidades da Marinha, em articulação com a Defesa Civil e as autoridades sanitárias, compõe uma cadeia “alerta-ação” capaz de reduzir significativamente a latência da resposta nacional (Figura 1).

A figura ilustra um fluxo integrado de resposta em cenários NBQR, articulando monitoramento climático (CEMADEN), diagnóstico rápido e biomanufatura (CEIS/Fiocruz), validação metrológica (Inmetro), resposta expedicionária (UMEM + CFN) e aplicação final em defesa nacional e proteção da Amazônia Azul. O modelo evidencia a necessidade de integração interinstitucional para fortalecer a soberania científica, tecnológica e militar. O Ministério da Saúde agrega capacidades civis por meio do Departamento de Emergências em Saúde Pública (DEMSP), do Programa Vigidesastres, da Sala de Situação Nacional de Emergências Climáticas em Saúde e da Força Nacional do SUS (FN-SUS), que reúnem protocolos, equipes e insumos estratégicos. Em conjunto, essas estruturas, somadas à regulação técnico-normativa (CTNBio, Agência Nacional de Vigilância Sanitária – Anvisa, MAPA e MMA), ao monitoramento climático e às forças expedicionárias, configuram um sistema integrado de gestão de emergências, apto a responder de forma ágil e coordenada a riscos biológicos e climáticos.

4. DISCUSSÃO

A biossegurança deve ser entendida como pilar da soberania nacional, articulando ciência, saúde, defesa e monitoramento ambiental. A pandemia de COVID-19 revelou vulnerabilidades críticas do Brasil — dependência de insumos importados, escassez de laboratórios de alta contenção e fragmentação da governança — que comprometeram a capacidade de resposta (Brasil, 2019). Em contraste, Estados Unidos, União Europeia, Reino Unido e Israel estruturaram autoridades centrais com poder normativo, financiamento estável e mobilização produtiva, reduzindo a latência entre ciência e aplicação (European Commission, 2021; United States, 2022; United Kingdom, 2023; HHS/ASPR, 2024; Israel, 2024).

No eixo da governança, os Estados Unidos da América (EUA), a União Europeia (UE) e o Reino Unido operam sob estruturas integradas, enquanto Israel se destaca pela cooperação civil-militar (Israel, 2024). No Brasil, embora exista legislação considerada robusta, representada pela Lei nº 11.105/2005, sua ênfase recai sobre organismos geneticamente modificados, deixando de contemplar microrganismos de alta patogenicidade e agentes de uso *dual*, apesar do país ser signatário da Convenção sobre Diversidade Biológica promulgada no Brasil por decreto federal (Brasil, 1998). Em paralelo, o país é signatário de acordos internacionais de biossegurança, incluindo o Protocolo de Cartagena sobre

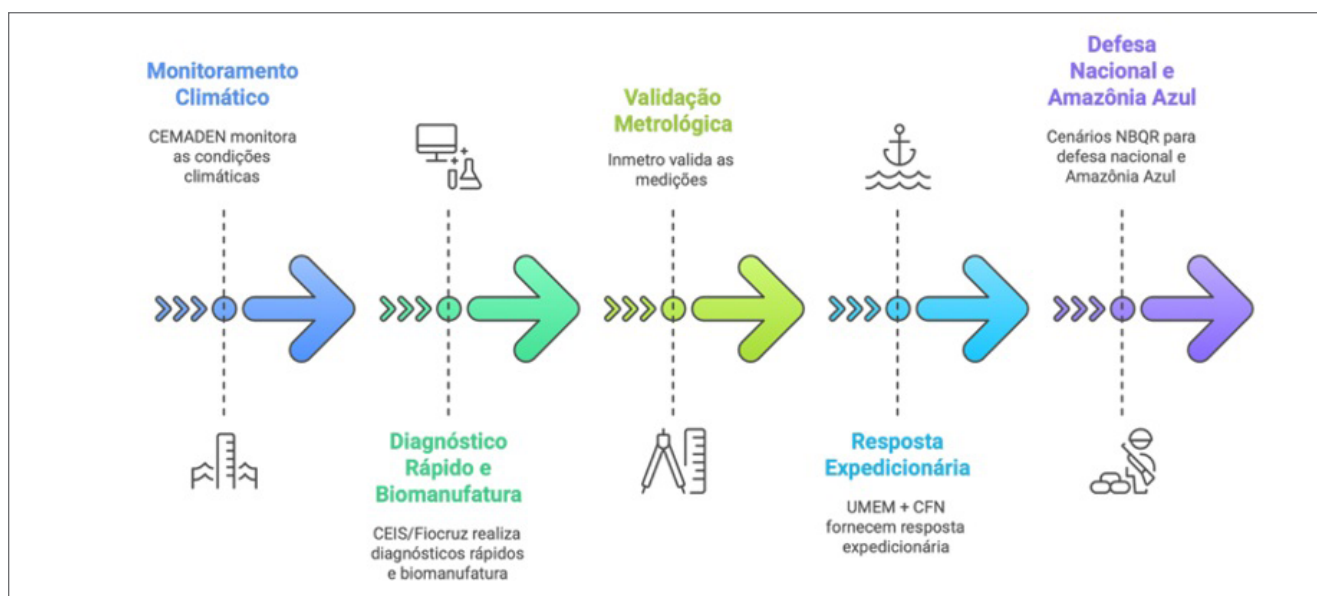


Figura 1. Cadeia Alerta-Ação em Biossegurança.

Biossegurança da Convenção sobre Diversidade Biológica, promulgado no Brasil pelo Decreto Federal nº 5.705/2006 (Brasil, 2006). A CTNBio exerce papel central, em articulação com Anvisa, MAPA e MMA, mas a dispersão das competências e a ausência de uma autoridade unificada limitam a efetividade. Esse cenário reforça a necessidade de uma política nacional abrangente, com mecanismos de coordenação para o enfrentamento de ameaças biológicas emergentes e riscos de bioterrorismo, preservando o avanço científico e a proteção da saúde pública e ambiental (Mendonça *et al.*, 2024).

A biomanufatura também é crítica. Enquanto países de referência mantêm contratos de capacidade e redes industriais preparadas para crises, o Brasil avança com o Plano de Investimentos do CEIS (Brasil, 2023), mas carece de mecanismos de contratação por risco e depende de tecnologias externas. Plataformas nacionais de testes portáteis e biossensores, com potencial de uso *dual*, representam oportunidade estratégica, mas ainda requerem validação regulatória e escalabilidade.

Na vigilância e no diagnóstico, modelos internacionais contam com redes interoperáveis de dados e validação em campo. O Brasil apresenta avanços, mas a escassez de laboratórios BSL-3/4 e a fragmentação informacional persistem. A análise ocupacional de bombeiros militares evidencia lacunas no registro de dados críticos, reforçando a necessidade de prontuários padronizados para decisões rápidas e baseadas em evidências (Pires, 2016; Pires; Vasconcellos; Bonfatti, 2017).

O monitoramento climático e a resposta expedicionária ampliam a dimensão estratégica da biossegurança. O CEMADEN atua como nó de alerta precoce e, integrado à vigilância epidemiológica, pode aproximar o Brasil de modelos como a UKHSA e o *Home Front Command* (United Kingdom, 2023; Israel, 2024). A relação entre eventos climáticos extremos e surtos infecciosos é evidente, como no aumento de hepatite A após enchentes no Rio Grande do Sul (RS) (Silveira *et al.*, 2021; SBMT, 2024). Nesse contexto, a UMEM, integrada ao GptOpFuzNav, constitui vetor crítico de medicina expedicionária, com capacidade de instalar hospitais de campanha, realizar triagem, estabilização e evacuação médica, além de assegurar logística anfíbia e ribeirinha (Marinha do Brasil, 2016; 2023). Essas capacidades são

aplicáveis à Defesa Nacional e à proteção da Amazônia Azul, em consonância com o PEM 2040.

Por fim, a dimensão ética do uso dual permanece um desafio. A baixa consciência institucional acerca dos riscos de pesquisas sensíveis na América Latina (Flores-Coronado *et al.*, 2025) e a ausência de marcos regulatórios consistentes (Hisham; Yusuf; Novita, 2025) comprometem a segurança e a confiança pública, tornando essencial a internalização de parâmetros internacionais, como os guias da OMS (WHO, 2022).

Destarte, o Brasil conta com ativos estratégicos — CTNBio, Fiocruz, CEIS, Inmetro, CEMADEN, UMEM e CFN —, mas carece de integração sistêmica. A Tabela 2 sintetiza as principais fragilidades e oportunidades de avanço, organizadas por eixo estratégico, e evidencia que a superação dessas lacunas depende de soluções institucionais, tecnológicas e operacionais capazes de fortalecer a soberania nacional em cenários NBQR e a proteção político-estratégica da Amazônia Azul.

5. CONCLUSÃO

O Brasil possui ativos científicos e institucionais relevantes, mas carece de governança centralizada, autonomia diagnóstica e infraestrutura de alta contenção, fragilidades que limitam a resposta a emergências biológicas e climáticas e ampliam a dependência externa. A integração do CEMADEN como nó de alerta precoce, associada à capacidade expedicionária da UMEM e do Corpo de Fuzileiros Navais, permite estruturar uma cadeia nacional de biossegurança e biodefesa, do monitoramento ao diagnóstico e à resposta em campo, em sintonia com a proteção da Amazônia Azul e o PEM 2040.

Para avançar, recomenda-se:

- i. implantar uma Comissão de Biossegurança e Bioproteção, incluindo microrganismos de alta patogenicidade e agentes de uso *dual*;
- ii. fortalecer a integração entre CTNBio, CEIS, Fiocruz, Inmetro, CEMADEN e CFN, consolidando governança centralizada;
- iii. ampliar a biomanufatura estratégica e as plataformas portáteis de diagnóstico;
- iv. atualizar periodicamente a legislação para alinhamento com padrões internacionais;
- v. integrar plenamente o CEMADEN à vigilância biológica nacional;

- vi. fortalecer a resposta expedicionária com foco em cenários NBQR e hidrometeorológicos; e
- vii. consolidar governança ética para tecnologias de uso *dual*;
- viii. ampliar os programas de capacitação em biossegurança e bioproteção, com ênfase específica na manipulação de agentes biológicos de uso *dual*, de modo a fortalecer

competências técnicas e promover práticas responsáveis no manejo desses materiais sensíveis.

Essa arquitetura integrada tem impacto direto na defesa nacional, ao reduzir vulnerabilidades críticas, ampliar a capacidade interagências e reforçar a soberania brasileira no contexto político-estratégico da Amazônia Azul.

REFERÊNCIAS

BRASIL. Decreto nº 2.519, de 16 de março de 1998. Promulga a Convenção sobre Diversidade Biológica, assinada no Rio de Janeiro, em 5 de junho de 1992. Brasília, DF: Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, 17 mar. 1998. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/d2519.htm. Acesso em: 10 set. 2025.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde e Ambiente (SVSA). Programas e ações de vigilância em saúde para emergências. *Gov.br*, 2003. Disponível em: <https://www.gov.br/saude/pt-br/composicao/svsa>. Acesso em: 9 set. 2025.

BRASIL. Decreto nº 5.705, de 16 de fevereiro de 2006. Promulga o Protocolo de Cartagena sobre Biossegurança à Convenção sobre Diversidade Biológica, firmado em Montreal, em 29 de janeiro de 2000. *Diário Oficial da União*: seção 1, Brasília, DF, 17 fev. 2006.

BRASIL. Lei nº 11.105, de 24 de março de 2005. Regulamenta os incisos II, IV e V do §1º do art. 225 da Constituição Federal, estabelece normas de segurança e mecanismos de fiscalização de atividades que envolvam organismos geneticamente modificados – OGM, cria o Conselho Nacional de Biossegurança – CNBS, reestrutura a Comissão Técnica Nacional de Biossegurança – CTNBio. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 28 mar. 2005.

BRASIL. Marinha do Brasil. *Plano Estratégico da Marinha (PEM 2040)*. Brasília, DF: Marinha do Brasil, 2020a. Disponível em: <https://www.marinha.mil.br/publicacoes/pem2040>. Acesso em: 8 set. 2025.

BRASIL. Marinha do Brasil. Comando-Geral do Corpo de Fuzileiros Navais. *CGCFN-0-1 - Manual Básico dos Grupamentos Operativos de Fuzileiros Navais*. Rio de Janeiro: Comando-Geral do Corpo de Fuzileiros Navais, 2020b.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. Comissão Técnica Nacional de Biossegurança (CTNBio). *Gov.br*, 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/mcti/pt-br/composicao/conselhos/ctnbio>. Acesso em: 6 mar. 2026.

BRASIL. Ministério da Saúde. *Construindo a política nacional de biossegurança e bioproteção*: ações estratégicas da saúde. Brasília: Ministério da Saúde, 2019.

BRASIL. Ministério da Saúde. Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços. *Plano de Investimentos do Complexo Econômico-Industrial da Saúde (2023-2026)*. Brasília, 2023.

EUROPEAN COMMISSION. Health Emergency Preparedness and

Response Authority (HERA). *European Commission*, 2021. Disponível em: https://commission.europa.eu/about/departments-and-executive-agencies/health-emergency-preparedness-and-response-authority_en. Acesso em: 7 set. 2025.

FLORES-CORONADO, J. A.; ALANIS-VALDEZ, A. Y.; HERRERA-SALDIVAR, M. F.; FLORES-FLORES, A. S.; VAZQUEZ-GUILLEN, J. M.; TAMEZ-GUERRA, R. S.; RODRIGUEZ-PADILLA, C. Awareness of the dual-use dilemma in scientific research: reflections and challenges to Latin America. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, v. 13, p. 1649781, 2025. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2025.1649781>

HEALTH & HUMAN SERVICES; ADMINISTRATION FOR STRATEGIC PREPAREDNESS AND RESPONSE – HHS/ASPR. *Biomedical Advanced Research and Development Authority (BARDA) programs and partnerships*. Washington, DC: US Department of Health and Human Services, 2024. Disponível em: <https://aspr.hhs.gov/Pages/Home.aspx>. Acesso em: 7 set. 2025.

HISHAM, A. A. B.; YUSOF, N. A. M.; NOVITA, M. Ethics, Regulation, and Governance in Dual-Use Research: A Systematic Review. *International Journal of Research and Innovation in Social Science*, v. 9, n. 4, p. 338-348, 2025. <https://doi.org/10.47772/IJRISS.2025.90400027>

ISRAEL. Ministry of Defense. Israel Institute for Biological Research (IIBR): overview. *Ministry of Defense*, 2024. Disponível em: <https://www.mod.gov.il>. Acesso em: 7 set. 2025.

LIMA, L. D. de; PEREIRA, A. M. M.; MACHADO, C. V. Crisis, conditioning factors, and challenges in the coordination of Brazil's federative State in the context of COVID-19. *Cadernos de Saúde Pública*, v. 36, n. 7, e00185220, 2020. <https://doi.org/10.1590/0102-311X00185220>

MARINHA DO BRASIL. Centro de Medicina Operativa da Marinha. *Manual de Medicina Expedicionária*. Rio de Janeiro: Serviço de Saúde da Marinha, 2016.

MARINHA DO BRASIL. Comando-Geral do Corpo de Fuzileiros Navais. *Apronto Operacional*. Rio de Janeiro: Centro de Comunicação Social do CFN, 2023.

MENDONÇA, A. O. *Avaliação dos laboratórios de alta contenção biológica no Brasil: infraestrutura, governança e desafios de sustentabilidade*. 2024. Tese (Doutorado em Bioquímica Aplicada) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2024.

MENDONÇA, A. O.; ZUELKE, K. A.; KAHL-MCDONAGH, M. M.;

MAFRA, C. Comparison of Brazilian high- and maximum-containment laboratories biosafety and biosecurity regulations to legal frameworks in the United States and other countries: gaps and opportunities. *Applied Biosafety*, v. 29, n. 1, p. 45–56, 2024. <https://doi.org/10.1089/apb.2023.0005>

PIRES, L. A. A. *A relação saúde-trabalho dos bombeiros militares do município do Rio de Janeiro*. 2016. 210 f. Dissertação (Mestrado em Saúde Pública) – Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, 2016.

PIRES, L. A. A.; VASCONCELLOS, L. C. F.; BONFATTI, R. J. Bombeiros militares do Rio de Janeiro: impactos das atividades sobre a saúde. *Saúde em Debate*, v. 41, n. 113, p. 577–590, 2017. <https://doi.org/10.1590/0103-1104201711318>

SILVEIRA, P. O.; GUASSELLI, L. A.; OLIVEIRA, G. G. de; NASCIMENTO, V. F. Relationship between cases of hepatitis A and flood areas, municipality of Encantado, Rio Grande do Sul, Brazil. *Ciência & Saúde Coletiva*, v. 26, n. 2, p. 721–728, 2021. <https://doi.org/10.1590/1413-81232020261.30592018>

SOCIEDADE BRASILEIRA DE MEDICINA TROPICAL. Catastrophic Floods in Rio Grande do Sul, Brazil: the need for public health responses to potential infectious disease outbreaks. *SBMT*, São Paulo,

6 jun. 2024. Disponível em: <https://sbmt.org.br/catastrophic-floods-in-rio-grande-do-sul-brazil-the-need-for-public-health-responses-to-potential-infectious-disease-outbreaks/>. Acesso em: 7 set. 2025.

TEIXEIRA, C. F.; SANTOS, J. S. Strategic analysis of the Brazilian federal government's performance in the COVID-19 pandemic: 2020–2021. *Ciência & Saúde Coletiva*, v. 28, n. 5, p. 1277–1286, 2023. <https://doi.org/10.1590/1413-81232023285.10502022EN>

UNITED KINGDOM. HM Government. *UK Biological Security Strategy*. London: HM Government, 2023. Disponível em: <https://www.gov.uk/government/publications/uk-biological-security-strategy>. Acesso em: 7 set. 2025.

UNITED STATES. The White House. *National Biodefense Strategy and Implementation Plan*. Washington: The White House, 2022. Disponível em: <https://www.whitehouse.gov/wp-content/uploads/2022/10/National-Biodefense-Strategy-and-Implementation-Plan-Final.pdf>. Acesso em: 7 set. 2025.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. *A global guidance framework for the responsible use of the life sciences: mitigating biorisks and governing dual-use research*. Geneva: WHO, 2022. Disponível em: <https://www.who.int/publications/i/item/9789240056107>. Acesso em: 7 set. 2025.